

【兵器与装备】

基于视频图像技术的火炮射击时振动测试*

欧克寅,傅建平,张培林,舒鑫

(军械工程学院,石家庄 050003)

摘要:针对目前火炮射击中振动测试常规方法的一些不足,提出一种采用高速摄影的方法、利用视频图像处理技术、运用图像相关匹配的方法,从而完成对火炮各部件的线位移、线速度、线加速度、角位移、角速度和角加速度的振动测试.该方法具有非接触、灵活性较强的特点.

关键词:火炮振动;图像匹配;最大相关系数;直线特征
中图分类号:TJ306 文献标识码:B

文章编号:1006-0707(2008)05-0022-04

火炮射击中的振动测试对于火炮故障诊断分析、研究火炮运动特性、动力学分析等都有重要意义.采用传统的传感器测试方法,由于射击中瞬时产生剧烈的冲击和振动、测试环境恶劣和传感器难于安装等不利因素,测试有相当大的难度.

1 测试方法

以某型自行火炮车体上射面内前后2个测试点为例,在测试点上注以标记,采用高速摄影方法获取火炮发射中的车体振动图像序列.图1、图2分别为2个测试点部分图像序列.拍摄过程中,把高速摄影机固定在离火炮较远的位置,使得成像视角相对较小.在整个实验过程中高速摄影机的位置不变化,一次性对焦之后使用焦距锁定功能,保证焦距不变.

通过对每帧图像的某一测试点进行匹配定位,可以确定出标记点的坐标,由于相邻两帧的间隔时间 Δt 固定不变,就可计算出标记点线位移,线速度和线加速度.对车体平面上的2个测试点进行分析,可以获取角位移、角速度、角加速度振动数据.由图像中标定目标像素大小与实际平面长度“ m ”之间的对应比例关系,可以换算出实测数据.

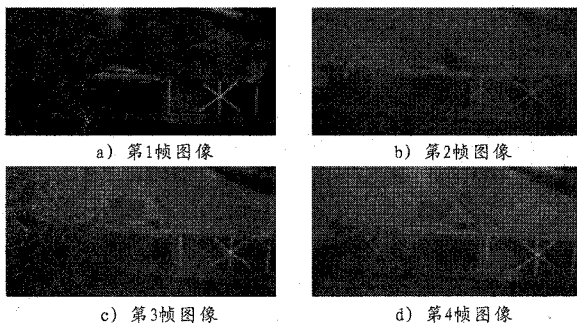


图1 1号测试点部分图像序列

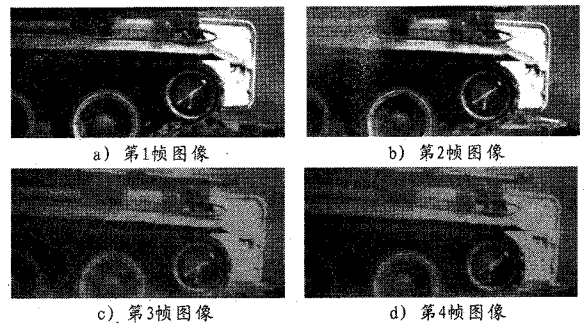


图2 2号测试点部分图像序列

2 图像匹配技术

由上面的测试方法可以看出,这种方法成功与否的核心取决于视频图像处理工作.这里主要采用了去均值归一化相关法(NNPROD)^[1]来进行模板匹配,并通过算法改进,以便减少计算量.同时利用直线特征来进行模板修正的匹配方法解决了部分图像目标存在旋转而匹配不准或失配的问题.为了进一步提高精度,本研究采用了亚像素匹配技术.

2.1 去均值归一化相关法理论模型

去均值归一化相关法(NNPROD)匹配在抗噪性、抗灰度失真性等方面均表现出良好的匹配性能,且匹配精度高.尽管计算量大,但对于不是实时测试的图像匹配来说,运用该方法较为理想.匹配数学模型为:

设 $f(x, y)$ 为待匹配图像(记为 A), $g(x, y)$ 为模板图像(记为 B),根据相关匹配在 A 中找出与 B 相匹配的子块.用 S_x, y 表示 A 中以 (x, y) 为左上角点与 B 大小相同的子块同时也表示该子块对应的矩阵, $\rho(x, y)$ 表示 S_x, y 与 B 的相关系数.相关系数算法的原始公式为:

* 收稿日期:2008-07-25

作者简介:欧克寅(1980—),男,四川都江堰人,硕士研究生,主要从事火炮检测诊断系统研究.

$$\rho(x, y) = \frac{\text{cov}(S_x, y, B)}{\sqrt{D_x, D}} \quad (1)$$

其中: D_x, y 为 S_x, y 的方差, D 为 B 的方差, $\text{cov}(S_x, y, B)$ 为 S_x, y 和 B 的协方差; 如果 $\rho(x, y)$ 很大或接近 1, 则表明图像 B 在 (x, y) 点与图像 A 匹配。

2.2 算法优化

上述模型计算量很大, 提高运算速度的一种方法是采用一种 $\rho(x, y)$ 的快速算法^[2], 其原理为:

由于 $S_x, (y+1)$ 是子图 S_x, y 在 A 中右移一列的位置对应的子图, 这样 $S_x, (y+1)$ 的前 $n-1$ 列正好是 S_x, y 的后 $n-1$ 列, 所以在计算 $D_x, (y+1)$ 时可以利用 D_x, y 的值以减少计算量。

设 A 为一幅灰度图像, 则有如下递推关系:

$$D_{x, (y+1)} = D_{x, y} + T_2 - T_1^2 - 2T_1 \overline{S_{X, Y}} \quad (2)$$

$$D_{x+1, y} = D_{x, y} + \bar{T}_2 - \bar{T}_1^2 - 2\bar{T}_1 \overline{S_{X, Y}} \quad (3)$$

其中: $T_1 = \frac{1}{mn} \sum_{i=x}^{x+m-1} [f(i, y+n) - f(i, y)]$; $T_2 = \frac{1}{mn} \sum_{i=x}^{x+m-1} [f^2(i, y+n) - f^2(i, y)]$; $\bar{T}_1 = \frac{1}{mn} \sum_{i=y}^{y+m-1} [f(x+m, i) - f(x, i)]$; $\bar{T}_2 = \frac{1}{mn} \sum_{i=y}^{y+m-1} [f^2(x+m, i) - f^2(x, i)]$

上面的递推关系使 $D_x, (y+1)$ 的计算量减少 n 倍, $D(x+1), y$ 的计算量减少 m 倍。另外, 再运用快速搜索方案来提高运算速度。方案为:

如果子块 S_x, y 与图像 B 相匹配, 则他们的方差一定接近, 所以引入相对误差

$$K = \frac{|D - D_{x, y}|}{D} \quad (4)$$

当 $K > \epsilon$ 时就不用计算 $\rho(x, y)$, 而去搜索下一个点, 否则就计算 $\rho(x, y)$, 搜索完所有的点, 使 $\rho(x, y)$ 最大的点即为匹配位置。

2.3 抗旋转匹配

在对火炮发射的图像序列进行精确定位中, 由于运动目标旋转的因素, 直接匹配容易发生匹配不准和失配的问题。针对火炮车体边缘具有明显反应倾斜角的特点, 利用 Hough 变换^[3]提取该直线, 如图 3 所示, 用该直线和基准直线斜率比较可得直线旋转角度 α , 再把包含模板的基准图部分区域旋转 α 后截取新模板, 使问题回到只有平移的情况再进行去均值归一化相关法(NNPROD)匹配。

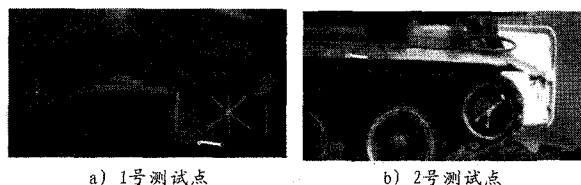


图 3 图像直线检测结果

2.4 精度提高

曲面拟合法^[4]求解亚像素位移是数字图像相关亚像素位移定位中的一种重要方法, 它具有抗噪声能力较强、精度高、计算效率高等优点, 在实际应用中多被采用。常用

的曲面拟合方法有 Gaussian 函数拟合和二次多项式拟合。对于相关系数曲面较平缓的情况, 高斯拟合不仅需要较大的拟合窗口, 而且可能产生较大的误差, 因此实际中多采用二元二次多项式来拟合相关函数曲面。对整像素位移搜索到的 (x', y') 周围各点的相关系数(见图 4), 都可用下面的二元二次函数表示:

$$C(x_i, y_j) = a_0 + a_1 x_i + a_2 y_j + a_3 x_i^2 + a_4 x_i y_j + a_5 y_j^2 \quad (5)$$

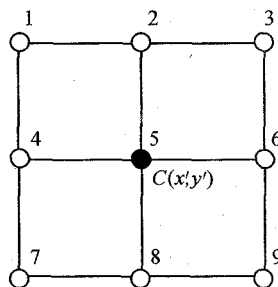


图 4 整像素位移搜索结果及其相邻 8 个点

对于 $n \times n$ (n 通常取 3, 4 或 5) 的拟合窗口就有 $n \times n$ 个式(5), 因此可以用最小二乘法来求解二次曲面的待定系数 a_0, \dots, a_5 。函数 $C(x, y)$ 在拟合曲面的极值点应满足以下方程组:

$$\frac{\partial C(x, y)}{\partial x} = a_1 + 2a_3 x + a_4 y = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial C(x, y)}{\partial y} = a_2 + 2a_5 y + a_4 x = 0 \quad (7)$$

于是, 由式(6)(7)就可求出拟合曲面的极值点位置:

$$x = \frac{2a_1 a_5 - a_2 a_4}{a_4^2 - 4a_3 a_5}, y = \frac{2a_2 a_3 - a_1 a_4}{a_4^2 - 4a_3 a_5} \quad (8)$$

2.5 试验检验

运用 Matlab 编程平台^[5]首先对视频进行灰度转换、滤波等预处理^[6]。然后以 2 个测试点某一帧图像为例, 按上述方法进行匹配, 如图 5 所示。图 5 a)、图 5 d) 是待匹配图像, 图 5 b)、图 5 e) 是模板图, 图 5 c)、图 5 f) 是匹配结果。即使待匹配的图像受烟雾等噪声干扰, 由于本算法有对噪声不敏感的特性, 所以仍然能够准确定位。依此法, 对整个视频图像序列进行匹配, 就可以获取整个发射过程图像匹配数据。

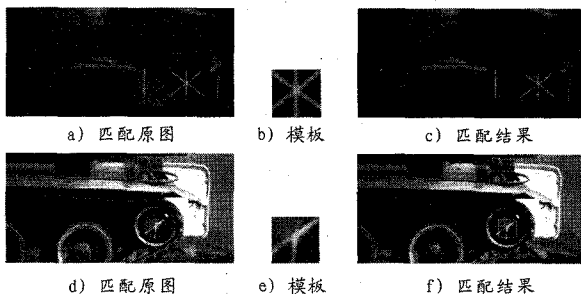


图 5 图像匹配试验

3 测试结果

以某型火炮单发射击为例, 本研究对射面内车体前后

2点进行了测试.图6~11分别为1号测试点垂向和横向线位移、线速度、线加速度振动原始数据.图12~17分别为2号测试点垂向和横向线位移、线速度、线加速度振动原始数据.图18~20为射面内车体的角位移、角速度和角加速度振动原始数据.

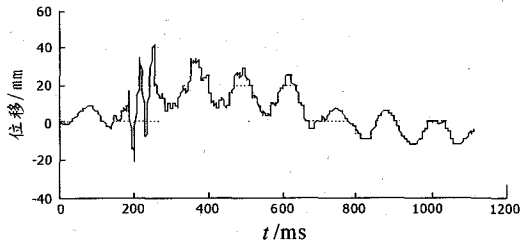


图6 1号测试点垂向线位移振动曲线

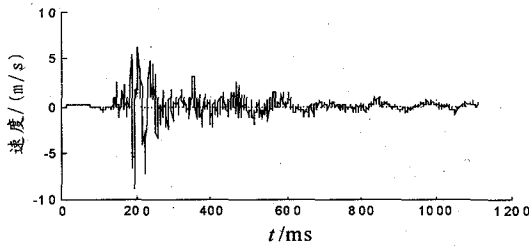


图7 1号测试点垂向线速度振动曲线

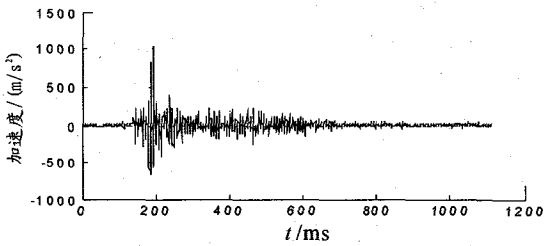


图8 1号测试点垂向加速度振动曲线

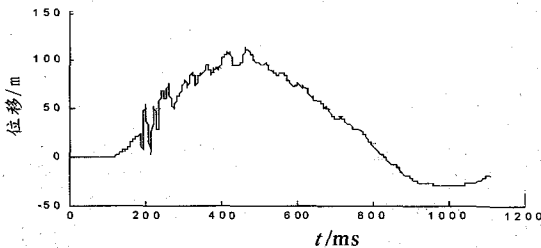


图9 1号测试点横向线位移振动曲线

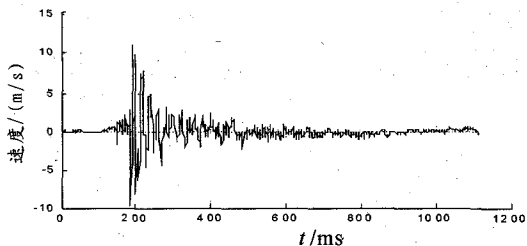


图10 1号测试点横向线速度振动曲线

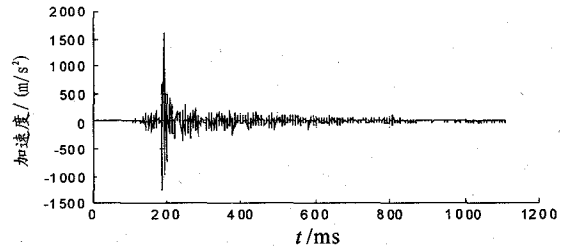


图11 1号测试点横向加速度振动曲线

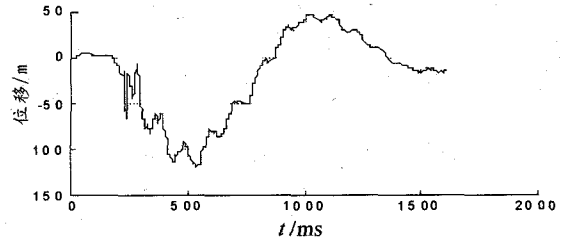


图12 2号测试点垂向线位移振动曲线

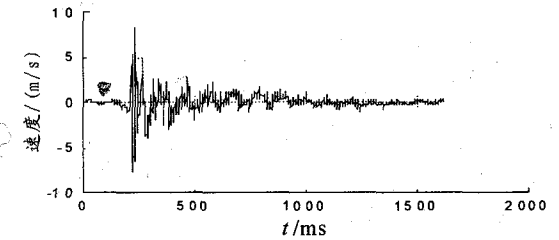


图13 2号测试点垂向线速度振动曲线

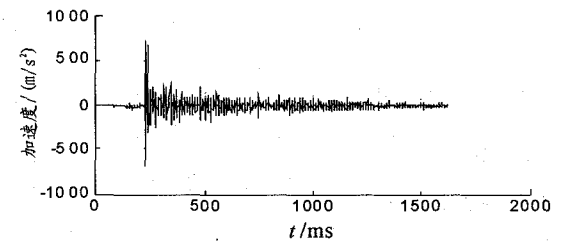


图14 2号测试点垂向加速度振动曲线

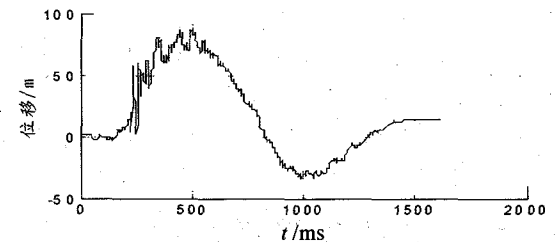


图15 2号测试点横向线位移振动曲线

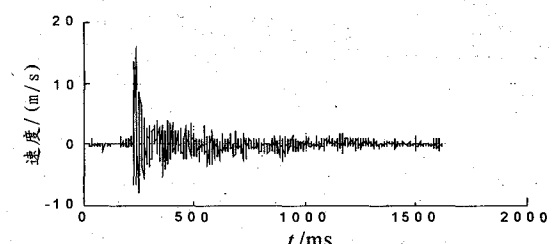


图16 2号测试点横向线速度振动曲线

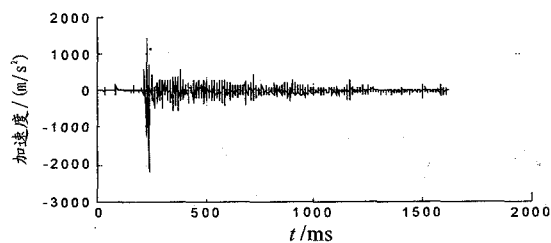


图 17 2号测试点横向加速度振动曲线

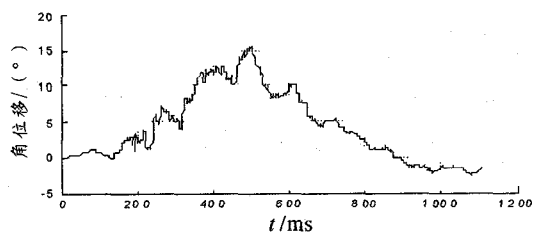


图 18 射面内车体角位移振动曲线

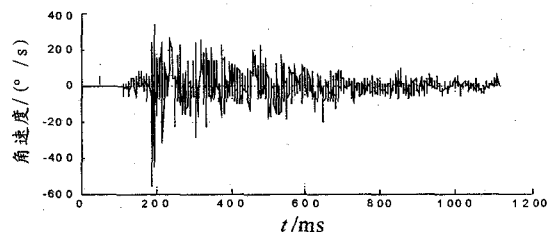


图 19 射面内车体角速度振动曲线

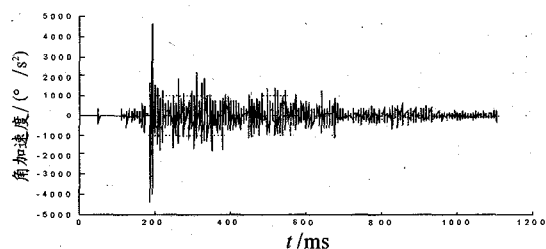


图 20 射面内车体角加速度振动曲线

7 结束语

采用基于视频图像技术的火炮射击振动测试方法,测试出车体 2 个测试点的线位移、线速度、线加速度和车体的角位移、角速度、角加速度振动测试原始数据.该方法具有非接触、灵活性较强等优点,在火炮故障诊断分析、研究火炮运动特性、动力学分析、精度分析等方面都有较高的实用价值.运用该方法同样可以对火炮各部件(能摄像的部件)进行振动测试.

参考文献:

- [1] 饶俊飞.基于灰度的图像匹配方法研究[D].武汉:武汉理工大学,2005.
- [2] 董安国.图像匹配最大互相关快速算法[J].浙江万里学院学报,2005(4):1.
- [3] 翟评,杨利平.Hough 变换 OCR 图像倾斜矫正方法[J].中国图像图形学报,2001(2):178.
- [4] 潘兵.数字图像相关中亚像素位移测量的曲面拟合法[J].计量学报,2005,26(2):1.
- [5] 楼顺天,陈生潭,雷虎民.MATLAB 程序设计语言[M].西安:西安电子科技大学出版社,2002.
- [6] 章毓晋.图像处理和分析[M].北京:清华大学出版社,1999:118.

(上接第 14 页)

参考文献:

- [1] 韩如成.自动检测技术[M].北京:兵器工业出版社,2002:227.
- [2] 张勇.机载计算机测试系统的设计和实现[J].航空计

算技术,2005(3):100.

- [3] 杨健,许路铁,秘文亮.基于虚拟仪器技术的电子设备测试系统[J].科学技术与工程,2007(11):2697.
- [4] 杨宝民,刘晓东,冀邦杰.基于虚拟仪器技术的专用测试设备的设计[J].测控技术,2006(7):66.
- [5] 朱慧敏等,熊家军,崔建.基于 PXI 的某机载计算机检测系统的设计[J].空军雷达学院学报,2007(1):52.